

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

①1 N° de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

2 762 467

②1 N° d'enregistrement national : **97 04682**

⑤1 Int Cl⁶ : H 04 M 9/08

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 16.04.97.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 23.10.98 Bulletin 98/43.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : FRANCE TELECOM SOCIETE ANO-
NYME — FR.

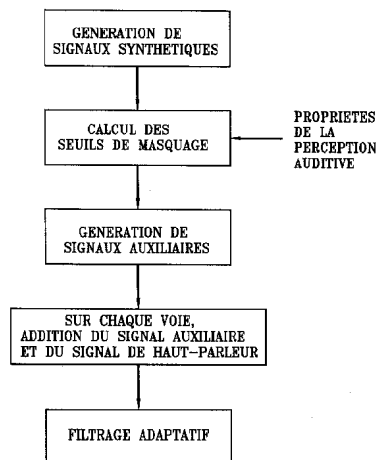
⑦2 Inventeur(s) : GILLOIRE ANDRE et TURBIN VALE-
RIE.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

⑤4 PROCÉDE D'ANNULATION D'ECHO ACOUSTIQUE MULTI-VOIES ET ANNULEUR D'ECHO ACOUSTIQUE
MULTI-VOIES.

⑤7 Pour effectuer une annulation d'écho sur plusieurs
voies de signal sonore, sur chaque voie, on engendre un si-
gnal synthétique ayant les caractéristiques spectrales d'un
bruit blanc; on calcule des seuils de masquage fréquentiel
dans plusieurs bandes de fréquence adjacentes, en utilisant
des propriétés de la perception auditive; dans chaque ban-
de de fréquence, on amène le niveau du signal synthétique
à la valeur du seuil de masquage associé, de façon à obtenir
un signal auxiliaire, qu'on additionne au signal associé au
haut-parleur de la voie considérée; on fournit le signal obte-
nu à un filtre adaptatif; on additionne les signaux de sortie
des filtres adaptatifs associés à chaque voie de micropho-
ne; on soustrait le signal résultant du signal reçu par le mi-
crophone de cette voie; on en déduit une erreur
d'estimation, en fonction de laquelle on corrige les coeffi-
cients des filtres adaptatifs associés à cette voie.



FR 2 762 467 - A1



1

**PROCEDE D'ANNULATION D'ECHO ACOUSTIQUE MULTI-VOIES ET
ANNULEUR D'ECHO ACOUSTIQUE MULTI-VOIES**

La présente invention concerne un procédé d'annulation d'écho acoustique multi-voies, ainsi qu'un annuleur d'écho acoustique multi-voies.

Dans le domaine de la transmission des signaux sonores, dans certaines applications telles que la téléphonie "mains libres" et la téléconférence, l'écho acoustique est une source de gêne considérable. Les dispositifs connus qui combattent l'écho acoustique comportent généralement des filtres adaptatifs, dont le rôle est d'identifier et de modéliser la réponse impulsionnelle du chemin de couplage acoustique entre le ou les haut-parleurs et le ou les microphones du système de transmission de signaux sonores considéré.

La figure 1 rappelle la structure générale d'un annuleur d'écho acoustique classique. Il est associé à un haut-parleur 10 et un microphone 12 entre lesquels il existe un chemin de couplage acoustique ou chemin d'écho 14. Les références 16 et 18 désignent respectivement le signal sonore reçu et le signal sonore émis. L'annuleur d'écho de la figure 1 comprend un filtre adaptatif 20 recevant en entrée le signal sonore reçu 16. L'objet du filtre adaptatif 20 est d'estimer par ses coefficients la réponse impulsionnelle du chemin d'écho 14, afin de soustraire l'écho du signal reçu par le microphone 12. Pour cela, la sortie du filtre adaptatif 20 est connectée à un soustracteur 22 qui soustrait le signal obtenu en sortie du filtre adaptatif 20 du signal reçu par le microphone 12. Le signal de différence obtenu en sortie du soustracteur 22 fournit une erreur d'estimation 24. Les coefficients du filtre adaptatif 20 sont ajustés au cours du temps par un algorithme approprié qui exploite l'information d'erreur d'estimation.

Le choix de cet algorithme conditionne de façon déterminante les performances de l'annuleur d'écho. Les procédés et dispositifs d'annulation d'écho connus utilisent couramment un algorithme dit du gradient stochastique

normalisé, habituellement désigné par le sigle NLMS. Un inconvénient de cet algorithme est que sa vitesse de convergence dépend des caractéristiques spectrales du signal sonore reçu. Un objectif de la présente invention est de
5 réduire cette dépendance.

Le problème de l'écho acoustique se pose bien sûr également dans les systèmes multi-voies de transmission de signaux sonores, c'est-à-dire dans les systèmes à plusieurs haut-parleurs et plusieurs microphones, par exemple deux
10 haut-parleurs et deux microphones dans le cas de la stéréophonie.

On connaît des procédés et des dispositifs d'annulation d'écho multi-voies fondés sur le même principe que ceux d'annulation mono-voie. La figure 2 représente à titre
15 d'exemple le schéma de principe partiel d'un annuleur d'écho acoustique stéréophonique classique, où, pour plus de clarté, on n'a représenté qu'une seule des deux voies de microphone. La structure générale peut être aisément généralisée à celle d'un annuleur d'écho acoustique à N
20 voies de signal sonore, où N est un entier quelconque. On ne décrit dans ce qui suit que le cas $N = 2$. De façon analogue à l'annuleur d'écho de la figure 1, l'annuleur d'écho stéréophonique s'applique à des voies de signal sonore reçu 16_1 , 16_2 et des voies de signal sonore émis, dont une seule, désignée par le chiffre de référence 18_1 , est représentée.
25 L'annuleur d'écho est associé à deux haut-parleurs 10_1 , 10_2 et deux microphones, dont un seul, désigné par le chiffre de référence 12_1 , est représenté. Il existe quatre chemins d'écho, dont deux chemins d'écho (14_1 et 14_2) entre les deux haut-parleurs 10_1 , 10_2 et le premier microphone 12_1 et deux autres chemins d'écho (non représentés) entre les deux haut-parleurs 10_1 , 10_2 et le second microphone. Pour estimer les réponses impulsionnelles des divers chemins d'écho, un filtre adaptatif est prévu entre chaque voie de haut-parleur
30 et chaque voie de microphone. Ainsi, si on considère la voie du microphone 12_1 , il est prévu deux filtres adaptatifs 20_1 ,

20₂ qui reçoivent respectivement en entrée les signaux sonores reçus 16₁ et 16₂. Les sorties des filtres adaptatifs 20₁, 20₂ sont fournies en entrée à un additionneur 26₁. Dans un annuleur d'écho à N voies où N est un entier quelconque, on prévoit un tel additionneur sur chaque voie de microphone. La somme des signaux de sortie des filtres adaptatifs fournie par l'additionneur 26₁ est soustraite, par un soustracteur 22₁, du signal reçu par le microphone 12₁. La même opération est effectuée sur chaque voie de microphone. Le signal de différence obtenu en sortie du soustracteur 22₁ fournit une erreur d'estimation 24₁ commune à tous les filtres adaptatifs relatifs à la voie de microphone considérée ; dans l'exemple de la figure 2, l'erreur d'estimation 24₁ est commune aux filtres adaptatifs 20₁ et 20₂. De même qu'en annulation d'écho mono-voies, les coefficients des filtres adaptatifs sont modifiés de façon itérative par un algorithme approprié, sur chaque voie de microphone, à partir de l'erreur d'estimation obtenue.

On a constaté, en annulation d'écho multi-voies, et en particulier en annulation d'écho stéréophonique, que la vitesse de convergence des algorithmes d'adaptation des coefficients des filtres adaptatifs était comparativement plus faible que la vitesse de convergence de ces algorithmes dans le cas de l'annulation d'écho mono-voie. Il a été montré que ce ralentissement de la convergence provient du fait que les signaux sonores reçus par les haut-parleurs, désignés par les chiffres de référence 16₁ et 16₂ sur la figure 2, sont mutuellement corrélés.

Le ralentissement de la convergence entraîne plusieurs inconvénients. En particulier, dans un système de téléconférence, les locuteurs situés dans la salle distante perçoivent d'autant plus longtemps l'écho de leur parole lors de la mise en route du système ou après une modification acoustique (mouvements des auditeurs par exemple) dans la salle où est situé l'annuleur d'écho. En outre, en annulation d'écho multi-voies, toute modification acoustique

dans la salle distante perturbe la convergence des filtres adaptatifs de l'annuleur d'écho, en raison de la corrélation mutuelle, évoquée précédemment, entre les signaux de parole reçue, ce qui entraîne une réapparition ou une augmentation du niveau de l'écho.

En revanche, on a observé en pratique que lorsque des composantes non mutuellement corrélées sont présentes sur chaque signal microphonique, elles tendent à accélérer la convergence des annuleurs d'écho multi-voies. Un objectif de la présente invention est d'exploiter cette propriété des composantes mutuellement décorrélées pour améliorer les performances des annuleurs d'écho multi-voies, et améliorer par conséquent la qualité de la communication dans les systèmes de transmission de signaux sonores qui mettent en oeuvre des annuleurs d'écho multi-voies. Pour cela, le principe général de la présente invention consiste à ajouter aux voies de signal sonore reçu des signaux auxiliaires mutuellement décorrélés, rendus inaudibles par exploitation de certaines propriétés de l'audition humaine.

Plus précisément, la présente invention propose un procédé d'annulation d'écho sur N voies de signal sonore ayant chacune un haut-parleur et un microphone associés, N étant un entier supérieur ou égal à 1, suivant lequel, sur chacune des N voies :

(a) on engendre un signal synthétique ayant les caractéristiques spectrales d'un bruit blanc, le spectre de ce signal s'étendant sur plusieurs bandes de fréquence adjacentes, et ce signal synthétique étant décorrélié des signaux synthétiques engendrés sur les autres voies ;

(b) pour chaque bande de fréquence, on calcule un seuil de masquage fréquentiel correspondant au signal associé au haut-parleur de la voie considérée en utilisant des propriétés de la perception auditive humaine ;

(c) dans chaque bande de fréquence, on amène le niveau du signal synthétique à la valeur du seuil de masquage fréquentiel associé, de façon à obtenir un signal

auxiliaire ;

(d) on additionne le signal auxiliaire au signal associé au haut-parleur de la voie considérée, les seuils de masquage fréquentiel ayant été précédemment calculés de façon à rendre le signal auxiliaire inaudible, et les signaux auxiliaires des N voies étant mutuellement décorré-

5 lés ;

(e) on fournit le signal obtenu précédemment en entrée à un filtre adaptatif dont les coefficients forment une estimation de la réponse impulsionnelle du chemin de couplage acoustique entre le haut-parleur et le microphone associés à la voie de signal sonore considérée ;

10

(f) on additionne les signaux obtenus en sortie des N filtres adaptatifs respectivement associés à chaque voie de microphone et on soustrait le signal résultant du signal reçu par le microphone associé à cette voie ;

15

(g) on calcule une erreur d'estimation à partir de la différence obtenue à l'issue de la soustraction précédente ;

(h) on corrige les coefficients des filtres adaptatifs associés à la voie de microphone considérée en fonction de l'erreur d'estimation associée.

20

Dans un mode particulier de réalisation du procédé, pour calculer chaque seuil de masquage fréquentiel,

(b1) on forme des blocs contenant chacun un nombre prédéterminé d'échantillons de signal sonore, deux blocs successifs se recouvrant mutuellement sur un nombre prédéterminé d'échantillons ;

25

(b2) on pondère les échantillons de chaque bloc par une fenêtre d'apodisation ;

30

(b3) on calcule la transformée de Fourier de chaque bloc ;

(b4) on divise le domaine des fréquences en plusieurs bandes critiques adjacentes ayant des fréquences inférieures et supérieures déterminées ;

35

puis, pour chaque bloc et dans chaque bande critique :

(b5) on additionne l'énergie des différentes raies spectrales appartenant à la bande critique, de façon à obtenir la valeur, pour cette bande critique, d'une fonction de répartition de l'énergie ;

5 (b6) on calcule le produit de convolution de la fonction de répartition de l'énergie et d'une fonction d'étalement basilaire, obtenue à partir d'une table de consultation, de façon à obtenir un spectre étalé E_i ;

10 (b7) on calcule un indice de tonalité α_i à partir des énergies des raies spectrales appartenant aux différentes bandes critiques ;

(b8) on calcule un facteur de correction O_i à partir de l'indice de tonalité calculé précédemment ;

15 (b9) on calcule un seuil de masquage fréquentiel T_i à partir du spectre étalé E_i et du facteur de correction O_i , défini comme suit :

$$10 \log_{10} T_i = 10 \log_{10} E_i - O_i - C_i$$

20 où C_i est un paramètre supplémentaire de correction de seuil calculé à partir de plusieurs caractéristiques des signaux sonores des N voies.

25 Dans un mode particulier de réalisation du procédé, les caractéristiques servant à calculer le paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i comprennent le niveau respectif des signaux des N voies et un ensemble de valeurs de la fonction d'intercorrélation d'au moins certaines paires de ces signaux, le paramètre supplémentaire de correction C_i étant une fonction croissante des valeurs de cette fonction d'intercorrélation.

30 En variante, les caractéristiques servant à calculer le paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i peuvent comprendre la somme des énergies contenues dans les diverses bandes critiques de chaque voie et le rapport des énergies par bande critique d'au moins certaines paires des différentes voies, le paramètre supplémentaire de correction C_i étant d'autant plus important que la somme des énergies
35 contenues dans les diverses bandes critiques est importante

et que le rapport des énergies par bande critique d'une paire de voies est peu différent entre les différentes bandes critiques.

5 La présente invention propose également un annuleur d'écho à N voies de signal sonore ayant chacune un haut-parleur et un microphone associés, N étant un entier supérieur ou égal à 1, comprenant :

- des moyens de calcul de signaux auxiliaires, comportant :

10 des moyens de formation de blocs contenant chacun un nombre prédéterminé d'échantillons du signal sonore, deux blocs successifs se recouvrant mutuellement sur un nombre prédéterminé d'échantillons ;

15 des moyens de pondération des échantillons de chaque bloc par une fenêtre d'apodisation, disposés en sortie des moyens de formation de blocs ;

des moyens de calcul de transformée de Fourier, disposés en sortie des moyens de pondération ;

20 des moyens de calcul des valeurs de fréquences inférieures et supérieures de bandes critiques adjacentes, ou une table de consultation contenant ces valeurs ;

25 des moyens pour calculer une fonction de répartition de l'énergie sur les bandes critiques, la valeur, dans une bande critique donnée, de la fonction de répartition de l'énergie étant calculée en additionnant l'énergie des différentes raies spectrales appartenant à cette bande critique ;

30 une seconde table de consultation, contenant des valeurs représentant des fonctions d'étalement basilaire associées chacune à une bande critique donnée ;

35 des moyens pour calculer un spectre étalé E_1 , en calculant, pour une bande critique donnée, le

produit de convolution de la fonction de répartition de l'énergie et de la fonction d'étalement associées à cette bande critique ;

5 des moyens de calcul d'un facteur de correction O_i associé à une bande critique donnée ;

des moyens de calcul d'un seuil de masquage fréquentiel T_i associé à une bande critique donnée, à partir du spectre étalé et du facteur de correction O_i associés à cette bande critique, le seuil de masquage fréquentiel T_i étant défini comme suit :

10

$$10 \log_{10} T_i = 10 \log_{10} E_i - O_i - C_i$$

où C_i est un paramètre supplémentaire de correction de seuil ;

des moyens de génération de signaux synthétiques ayant les caractéristiques spectrales d'un bruit blanc ;

15

des moyens de contrôle, connectés aux N voies de signal sonore, pour calculer pour chaque bande critique le paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i à partir de plusieurs caractéristiques des signaux sonores des N voies ;

20

des moyens pour amener le niveau d'un signal synthétique à la valeur du seuil de masquage fréquentiel associé, de façon à obtenir un signal auxiliaire ;

25

des moyens de calcul de transformée de Fourier inverse ;

des moyens de mémoire pour stocker le résultat du traitement des blocs successifs ;

des moyens pour combiner le résultat du traitement d'un bloc avec le résultat du traitement du bloc précédent ;

30

des moyens de lecture séquentielle reliés auxdits moyens de mémoire, pour faire passer la cadence des données de la cadence bloc à la cadence échantillon ;

35

N premiers moyens additionneurs respectivement disposés sur les N voies de signal sonore, pour additionner sur chaque voie le signal sonore reçu et le signal auxiliaire associé ;

5 - NxN moyens de filtrage adaptatif, comprenant N moyens de filtrage adaptatif associés à chacune des N voies de microphone, et ayant chacun des coefficients qui forment une estimation de la réponse impulsionnelle du chemin de couplage acoustique entre le haut-parleur et le microphone
10 associés à une des N voies de signal sonore ;

 - des seconds moyens additionneurs, connectés en sortie des N moyens de filtrage adaptatif associés à chaque voie de microphone, pour additionner les signaux de sortie de ces N moyens de filtrage adaptatif ;

15 - N moyens soustracteurs, disposés chacun en sortie des seconds moyens additionneurs et connectés respectivement aux microphones des N voies de signal sonore, pour soustraire sur chaque voie le signal obtenu en sortie des seconds moyens additionneurs du signal reçu par le microphone de cette voie ;
20

 - N moyens pour calculer sur chaque voie une erreur d'estimation à partir du résultat fourni par le moyen soustracteur connecté au microphone de cette voie ;

 - N moyens pour corriger de façon itérative les
25 coefficients respectifs des N moyens de filtrage adaptatif associés à chacune des N voies de microphone, en fonction de l'erreur d'estimation associée à chaque voie de microphone.

Les réalisations diffèrent selon les applications, et en particulier, le nombre de haut-parleurs du système de transmission de signaux sonores considéré peut être différent du nombre de microphones.
30

Dans un mode particulier de réalisation du dispositif, les caractéristiques servant à calculer le paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i comprennent le
35 niveau respectif des signaux des N voies et un ensemble de valeurs de la fonction d'intercorrélation d'au moins

certaines paires de ces signaux, le paramètre supplémentaire de correction C_i étant une fonction croissante des valeurs de cette fonction d'intercorrélation.

5 En variante, les caractéristiques servant à calculer le paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i peuvent comprendre la somme des énergies contenues dans les diverses bandes critiques de chaque voie et le rapport des énergies par bande critique d'au moins certaines paires des différentes voies, le paramètre supplémentaire de correction
10 C_i étant d'autant plus important que la somme des énergies contenues dans les diverses bandes critiques est importante et que le rapport des énergies par bande critique d'une paire de voies est peu différent entre les différentes bandes critiques.

15 Dans un mode particulier de réalisation du dispositif, l'annuleur d'écho comprend en outre des moyens de calcul d'un indice de tonalité α_i à partir des énergies des raies spectrales appartenant aux différentes bandes critiques, lesdits moyens de calcul du facteur de correction O_i
20 calculant le facteur de correction O_i à partir de l'indice de tonalité α_i .

Dans un mode particulier de réalisation du dispositif, les moyens de calcul de l'indice de tonalité fournissent un indice de tonalité constant, identique pour toutes
25 les bandes critiques et défini par :

$$\alpha_i = \alpha = \min(\text{SFM}/\text{SFM}_{\text{max}}, 1)$$

où $\min(a, b)$ désigne la plus petite des valeurs a et b ,

où SFM_{max} est un paramètre de valeur prédéterminée en dB associé à un signal sinusoïdal pur, et

30 où $\text{SFM} = 10 \log_{10} G/A$, où \log_{10} désigne le logarithme décimal, G désigne la moyenne géométrique de l'énergie sur un nombre prédéterminé de points de la transformée de Fourier et A désigne sa moyenne arithmétique sur le même nombre de points.

35

Dans un mode particulier de réalisation, $\text{SFM}_{\text{max}} =$

- 60 dB.

Dans un mode particulier de réalisation, les moyens de calcul du facteur de correction O_i fournissent un facteur de correction O_i défini par :

5
$$O_i = \max (SO, \alpha_i \cdot (k_1 + B_i) + (1 - \alpha_i) \cdot k_2)$$

où $\max(a, b)$ désigne la plus grande des valeurs a et b ,

où SO , k_1 et k_2 sont des paramètres de valeur prédéterminée en dB,

où α_i est l'indice de tonalité associé à la bande critique considérée, et

10 où B_i désigne la fréquence de la bande critique en Bark.

Dans un mode particulier de réalisation du dispositif, $SO = 24,5$ dB, $k_1 = 14,5$ dB et $k_2 = 5,5$ dB.

D'autres caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit de modes particuliers de réalisation, donnés à titre d'exemples non limitatifs. La description se réfère aux dessins annexés, dans lesquels :

15 - la figure 1, relative à l'art antérieur et décrite en introduction, est une représentation schématique d'un annuleur d'écho acoustique mono-voie classique ;

20 - la figure 2, également relative à l'art antérieur et décrite en introduction, est une représentation schématique partielle d'un annuleur d'écho acoustique stéréophonique classique, où une seule voie de microphone est représentée ;

25 - la figure 3 est un organigramme décrivant la succession générale des étapes du procédé de la présente invention dans un mode particulier de réalisation ;

30 - la figure 4 représente de façon schématique le dispositif de la présente invention dans un mode particulier de réalisation ;

35 - la figure 5 représente de façon schématique la structure du module de calcul de signaux auxiliaires compris dans le dispositif de la présente invention, dans un mode particulier de réalisation ;

5 - la figure 6a est un graphe illustrant un premier exemple d'évolution au cours du temps de l'écart relatif entre les réponses impulsionnelles réelles des chemins de couplage acoustique et les réponses impulsionnelles estimées par les filtres adaptatifs d'un annuleur d'écho stéréophonique conforme à un mode particulier de réalisation de la présente invention ;

10 - la figure 6b est un graphe analogue à celui de la figure 6a, établi pour un annuleur d'écho stéréophonique classique ;

15 - la figure 7a est un graphe illustrant un deuxième exemple d'évolution au cours du temps de l'écart relatif entre les réponses impulsionnelles réelles des chemins de couplage acoustique et les réponses impulsionnelles estimées par les filtres adaptatifs d'un annuleur d'écho stéréophonique conforme à un mode particulier de réalisation de la présente invention ;

20 - la figure 7b est un graphe analogue à celui de la figure 7a, établi pour un annuleur d'écho stéréophonique classique.

Le procédé et le dispositif de la présente invention s'appliquent à un signal sonore quelconque. A titre d'exemple non limitatif, il peut s'agir aussi bien d'un signal de parole que de musique.

25 On va d'abord décrire l'organisation générale du procédé d'annulation d'écho multi-voies dans un mode particulier de réalisation, à l'aide de la figure 3.

On considère N voies de signal sonore dont chacune comporte un haut-parleur et un microphone.

30 Sur chaque voie de signal sonore reçu, on synthétise tout d'abord un signal ayant les caractéristiques spectrales d'un bruit blanc et dont le spectre s'étend sur plusieurs bandes de fréquence adjacentes, les signaux synthétiques des N voies étant mutuellement décorrélés.

Ensuite, pour chaque bande de fréquence, on calcule un seuil de masquage fréquentiel correspondant au signal sonore reçu par le haut-parleur de la voie considérée.

5 On rappelle que l'effet de masquage consiste en ce qu'un son en présence d'un autre peut devenir partiellement ou complètement inaudible. Lorsque ce phénomène se produit dans le domaine fréquentiel, on parle de masquage simultané ou masquage fréquentiel. Il existe un seuil, appelé seuil de masquage fréquentiel, en deçà duquel toutes les composantes
10 fréquentielles d'un son masqué sont inaudibles. Pour plus de détail sur le phénomène de masquage, on se reportera utilement à l'ouvrage de E. ZWICKER et R. FELDTKELLER intitulé "Das Ohr als Nachrichtenempfänger", Stuttgart, West Germany, Hirzel Verlag, 1967.

15 Dans un mode particulier de réalisation, le calcul des seuils de masquage fréquentiel s'effectue comme suit. Tout d'abord, on transforme la cadence du flot de données de signal sonore en passant d'une cadence d'échantillons, par exemple de 16 kHz, à une cadence de blocs, par exemple
20 chacun d'une durée de 32 ms. Chaque bloc contient donc un nombre prédéterminé d'échantillons. Deux blocs successifs se recouvrent mutuellement sur un nombre prédéterminé d'échantillons, par exemple sur une durée de 16 ms.

25 Ensuite, pour améliorer l'estimation ultérieure du spectre, on pondère les échantillons de chaque bloc par une fenêtre d'apodisation, par exemple du type fenêtre de Hamming ou de Hanning.

Puis on calcule la transformée de Fourier de chaque bloc sur un nombre prédéterminé de points, par exemple 512
30 points pour des blocs de 32 ms. On peut utiliser à cet effet un algorithme de transformée de Fourier rapide.

On divise ensuite le domaine des fréquences auquel le signal sonore reçu est susceptible d'appartenir en plusieurs bandes de fréquences adjacentes ayant des fréquences inférieures et supérieures déterminées. Ces bandes de
35 fréquences sont appelées bandes critiques. Le tableau ci-

dessous fournit, à titre d'exemple non limitatif, la décomposition du domaine des fréquences de la parole en bandes critiques (bornes inférieures et supérieures et fréquences centrales) établie par E. ZWICKER et R. FELDTKEL-
 5 LER et figurant dans l'ouvrage précité. La largeur de chaque bande critique est par convention égale à 1 Bark. Le tableau donne donc la correspondance entre l'échelle fréquentielle des Hertz et celle des Bark.

10

	Bande critique n°	Borne inférieure (Hz)	Centre (Hz)	Borne supérieure (Hz)
15	1	0	50	100
	2	100	150	200
	3	200	250	300
	4	300	350	400
	5	400	450	510
20	6	510	570	630
	7	630	700	770
	8	770	840	920
	9	920	1000	1080
	10	1080	1170	1270
25	11	1270	1370	1480
	12	1480	1600	1720
	13	1720	1850	2000
	14	2000	2150	2320
	15	2320	2500	2700
30	16	2700	2900	3150
	17	3150	3400	3700
	18	3700	4000	4400
	19	4400	4800	5300
	20	5300	5800	6400
35	21	6400	7000	7700
	22	7700	8500	9500
	23	9500	10500	12000
	24	12000	13500	15500
40				

Au lieu d'appliquer une transformée de Fourier comme décrit ci-dessus, on peut, en variante, utiliser une

décomposition par bancs de filtres, ce qui permet d'obtenir directement la décomposition en bandes critiques.

L'étape suivante consiste à additionner l'énergie des différentes raies spectrales appartenant à chaque bande critique, de façon à obtenir la valeur, dans cette bande critique, d'une fonction de répartition de l'énergie.

On calcule ensuite le spectre étalé E_1 , défini comme le produit de convolution de la fonction de répartition de l'énergie par bande critique avec la fonction dite d'étalement basilaire. La fonction d'étalement basilaire E_b correspond à la réponse fréquentielle en énergie de la membrane basilaire de l'oreille humaine. Elle représente l'excitation résultant de la perception d'une tonale, c'est-à-dire d'un son de fréquence pure, et peut être définie par l'équation suivante, figurant également dans l'ouvrage précité de E. ZWICKER et R. FELDTKELLER :

$$10 \cdot \log_{10} E_b = 15,81 + 7,5 \cdot (B + 0,474) - 17,5 \cdot (1 + (B + 0,474)^2)^{1/2}$$

où \log_{10} représente le logarithme décimal et B est la fréquence en Bark. Dans le mode particulier de réalisation décrit, les valeurs de cette fonction sont lues dans une table de consultation.

On a montré expérimentalement qu'il est plus difficile de masquer un bruit par une tonale que l'inverse. Pour tenir compte de cette asymétrie des seuils de masquage, on applique à chaque seuil un facteur de correction O_i associé à une bande critique donnée B_i et qui dépend de l'aspect tonal ou non tonal du signal sonore. Pour évaluer cet aspect tonal ou non tonal, on utilise, dans un mode particulier de réalisation, une mesure notée SFM (en anglais Spectral Flatness Measure), définie comme le rapport entre la moyenne géométrique de l'énergie sur un nombre prédéterminé de points de la transformée de Fourier et sa moyenne arithmétique sur le même nombre de points, par exemple 256 points pour une transformée de Fourier calculée sur 512 points.

La valeur SFM obtenue est comparée à celle d'un signal sinusoïdal pur, pour lequel, à titre d'exemple non limitatif, on peut poser par convention $SFM = SFM_{max} = -60$ dB.

5 On calcule alors un indice de tonalité α_i , qui, dans un mode particulier de réalisation, est constant et identique pour toutes les bandes critiques et défini par :

$$\alpha_i = \alpha = \min (SFM/SFM_{max}, 1)$$

où $\min (a, b)$ désigne la plus petite des valeurs a et b.
10 L'indice α_i est compris entre 0 et 1 et est plus élevé pour les composantes tonales du signal que pour les composantes non tonales. Toute autre méthode de calcul de l'indice de tonalité jugée appropriée est envisageable.

Le facteur de correction O_i associé à la bande critique de fréquence B_i en Bark est défini à partir de l'indice de tonalité α_i comme suit :

$$O_i = \max (SO, \alpha_i \cdot (k_1 + B_i) + (1 - \alpha_i) \cdot k_2)$$

où $\max (a, b)$ désigne la plus grande des valeurs a et b et où SO , k_1 et k_2 sont des paramètres de valeur prédéterminée en dB. Typiquement, on peut choisir $SO = 24,5$ dB, $k_1 = 14,5$ dB et $k_2 = 5,5$ dB.
20

Le facteur de correction O_i est une fonction croissante du rang de la bande critique dans le cas de composantes tonales dominantes et accorde plus de poids à celles-ci qu'aux composantes non tonales.
25

On applique en outre aux seuils de masquage un paramètre supplémentaire de correction C_i calculé à partir de plusieurs caractéristiques des signaux sonores des N voies. Le paramètre C_i peut être commun à tous les seuils de masquage correspondant aux différentes bandes critiques, ou bien avoir une valeur spécifique pour chaque bande critique.
30

Dans un mode particulier de réalisation, on calcule le paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i à partir des niveaux des signaux sonores reçus sur les N voies et d'un ensemble de valeurs de la fonction d'intercorrélation d'au moins certaines paires de ces signaux. Dans ce
35

mode particulier de réalisation, le paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i est une fonction croissante des valeurs de la fonction d'intercorrélation.

5 A titre d'exemple non limitatif, dans une installation pratique typique de téléconférence à plusieurs microphones et plusieurs haut-parleurs, les microphones sont disposés de telle sorte que la corrélation entre signaux captés est importante entre deux microphones adjacents et faible entre microphones distants. Cette corrélation
10 variable se retrouve, moyennant des modifications éventuelles dues aux traitements durant la transmission, à la réception, entre les voies adjacentes d'une part, à savoir, entre deux haut-parleurs directement voisins, et entre les voies distantes d'autre part, à savoir, entre les autres
15 paires de haut-parleurs distants.

 Ainsi, on peut se limiter à utiliser, pour le calcul des paramètres C_i , les caractéristiques de niveau et d'intercorrélation des paires de voies correspondant aux paires de haut-parleurs directement voisins et aux deux
20 paires adjacentes (si ces dernières existent, compte tenu du nombre total de haut-parleurs). Ainsi, si on considère une paire de haut-parleurs directement voisins (HP_k , HP_{k+1}), on utilisera leurs caractéristiques de niveau et d'intercorrélation ainsi que celles des paires adjacentes (HP_{k-1} , HP_k)
25 (HP_{k-1} et HP_k étant directement voisins) et (HP_{k+1} , HP_{k+2}) (HP_{k+1} et HP_{k+2} étant directement voisins).

 Dans un autre mode de réalisation, on calcule le paramètre supplémentaire de correction C_i à partir de la somme des énergies contenues dans les diverses bandes
30 critiques de chaque voie et le rapport des énergies par bande critique d'au moins certaines paires des différentes voies.

 De façon analogue au mode de réalisation précédent, on peut se limiter à utiliser les caractéristiques de somme
35 et de rapport d'énergie des paires de voies correspondant aux paires de haut-parleurs directement voisins et aux deux

5 paires adjacentes. Le paramètre C_i est d'autant plus important que la somme des énergies contenues dans les diverses bandes critiques est importante et que le rapport des énergies par bande critique d'une paire de voies est peu différent entre les différentes bandes critiques.

10 Ainsi, lorsque l'intercorrélation entre les signaux sonores de deux voies données est forte, et/ou que ces deux signaux ont des énergies comparables, le paramètre C_i est élevé, c'est-à-dire qu'une réduction importante du seuil est appliquée, typiquement de 6 à 10 dB. A l'inverse, lorsque les signaux sont peu corrélés et/ou sont d'énergies sensiblement différentes, une réduction moins importante du seuil est appliquée, typiquement de 0 à 6 dB. Cette correction tient compte des propriétés de l'audition. Elle a pour but
15 de rendre inaudibles les signaux auxiliaires mentionnés en introduction et dont l'obtention est détaillée ci-après, tout en permettant de leur donner le niveau le plus élevé possible.

20 Pour chaque bloc et dans chaque bande critique, on obtient le seuil de masquage fréquentiel T_i à partir du spectre étalé E_i et du facteur de correction O_i définis précédemment, et du paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i , comme suit :

$$10 \log_{10} T_i = 10 \log_{10} E_i - O_i - C_i$$

25 Comme le montre la figure 3, l'étape suivante du procédé consiste à obtenir, sur chaque voie, un signal auxiliaire. Pour cela, dans un mode particulier de réalisation, on amène dans chaque bande critique le niveau du signal synthétique à la valeur du seuil de masquage fréquentiel associé.
30

On calcule ensuite la transformée de Fourier inverse correspondant au résultat du traitement du bloc courant, par exemple au moyen d'un algorithme de transformée de Fourier inverse rapide. Dans le cas où on n'a pas utilisé une transformée de Fourier, mais une décomposition par bancs de
35 filtres, comme décrit précédemment, on effectue, au lieu

d'une transformation de Fourier inverse, une étape de synthèse correspondant à une transformation inverse de la décomposition par bancs de filtres.

5 On combine ensuite le résultat du traitement des blocs précédents avec le résultat du traitement du bloc courant, afin de reconstruire le bloc de bruit masqué courant, par exemple au moyen d'un procédé connu de synthèse par recouvrement et addition (en anglais "overlap-add") ou par recouvrement et sauvegarde (en anglais "overlap-save").

10 On repasse ensuite de la cadence de blocs à la cadence d'échantillons.

L'ensemble des traitements décrits précédemment peut être effectué par un processeur de traitement de signal en temps réel.

15 Dans un mode particulier de réalisation, l'étape suivante du procédé consiste, sur chaque voie, à additionner le signal auxiliaire obtenu au signal associé au haut-parleur de cette voie, comme l'indique la figure 3. Par construction, les signaux auxiliaires des N voies sont mutuellement décorrélés et, du fait que les signaux auxiliaires ne dépassent pas les seuils de masquage fréquentiel associés, ils sont inaudibles.

20 Dans le mode de réalisation décrit, chaque signal auxiliaire est additionné au signal de haut-parleur associé après avoir été reconstitué dans sa totalité à partir des différentes bandes critiques. En variante, cette addition peut tout aussi bien être effectuée dans chacune des différentes bandes critiques.

25 On effectue ensuite une étape globale de filtrage adaptatif, comme l'indique la figure 3. Cette étape est détaillée ci-dessous dans un mode particulier de réalisation.

30 On fournit tout d'abord la somme du signal auxiliaire et du signal de haut-parleur en entrée à un filtre adaptatif dont les coefficients forment une estimation de la réponse impulsionnelle du chemin de couplage acoustique

35

entre le haut-parleur et le microphone associés à la voie de signal sonore considérée.

On procède ainsi sur chaque voie, puis on additionne les signaux obtenus en sortie des N filtres adaptatifs associés à chaque voie de microphone. On soustrait ensuite le signal résultant, sur chaque voie de microphone, du signal reçu par le microphone associé à cette voie.

A partir du signal de différence ainsi obtenu, on calcule sur chaque voie de microphone une erreur d'estimation et on corrige les coefficients des filtres adaptatifs associés à cette voie de microphone en fonction de cette erreur d'estimation.

L'étape de filtrage adaptatif détaillée ci-dessus est réalisée dans le domaine temporel. En variante, on peut réaliser le filtrage adaptatif par blocs et non par échantillons, en particulier en effectuant l'ensemble des traitements correspondants dans le domaine de Fourier. Pour une description de procédés de filtrage adaptatif fréquentiel, on se reportera utilement à l'article de J. PRADO et E. MOULINES intitulé "Frequency domain adaptive filtering with applications to acoustic echo cancellation", Annales des Télécommunications, 49, n° 7-8, 1994, pages 414-428.

On décrit dans ce qui suit un mode particulier de réalisation d'un annuleur d'écho conforme à la présente invention, à l'aide des figures 4 et 5.

Dans ce mode particulier de réalisation, le nombre de haut-parleurs est identique au nombre de microphones. Cependant, diverses réalisations sont possibles selon les applications, et en particulier, le nombre de haut-parleurs peut être différent du nombre de microphones.

Comme le montre la figure 4, l'annuleur d'écho est associé à N haut-parleurs $30_1, \dots, 30_N$ et N microphones $32_1, \dots, 32_N$. Il comprend un module 34 de calcul de signaux auxiliaires dont la structure détaillée sera décrite à l'aide de la figure 5. De façon globale, le module 34 de calcul de signaux auxiliaires comprend un module de contrôle

36 connecté aux N voies de haut-parleur, N modules $38_1, \dots, 38_N$ de production de signaux auxiliaires respectivement connectés aux N voies de haut-parleur et au module de contrôle 36, et N premiers modules additionneurs $40_1, \dots, 40_N$ respectivement disposés sur les N voies de haut-parleur et recevant chacun en entrée le signal sonore reçu sur la voie considérée et le signal de sortie du module de production de signaux auxiliaires associé à cette voie.

L'annuleur d'écho représenté sur la figure 4 comprend en outre $N \times N$ modules de filtrage adaptatif $42_{i,j}$ où i et j sont des entiers variant de 1 à N, les N modules de filtrage adaptatif $42_{i,1}, \dots, 42_{i,N}$ étant associés à la ième voie de microphone, $1 \leq i \leq N$, et étant respectivement associés aux N voies de haut-parleur, comme le montre la figure 4. Pour la ième voie de microphone, $1 \leq i \leq N$, les sorties des N modules de filtrage adaptatif $42_{i,1}, \dots, 42_{i,N}$ sont connectées à un second module additionneur 44_i . La sortie de chaque second module additionneur 44_i , $1 \leq i \leq N$, est connectée à l'entrée soustractrice d'un module soustracteur 46_i recevant sur son entrée non soustractrice le signal reçu par le ième microphone 32_i . La sortie de chaque module soustracteur 46_i commande l'ensemble des N modules de filtrage adaptatif $42_{i,1}, \dots, 42_{i,N}$, par l'intermédiaire d'un module (non représenté) permettant de calculer une erreur d'estimation à partir du résultat fourni par le module soustracteur 46_i , et par l'intermédiaire d'un module (non représenté) pour corriger de façon itérative les coefficients des N modules de filtrage adaptatif $42_{i,1}, \dots, 42_{i,N}$, en fonction de l'erreur d'estimation obtenue.

La figure 5 représente plus en détail la structure du sous-ensemble du module 34 de calcul de signaux auxiliaires formé par le module de contrôle 36 et les N modules $38_1, \dots, 38_N$ de production de signaux auxiliaires.

Le signal sonore reçu sur une voie de haut-parleur donnée est fourni en entrée à un module 48 de formation de blocs. Le module 48 fournit en sortie des blocs contenant

chacun un nombre prédéterminé d'échantillons du signal sonore reçu. Deux blocs successifs se recouvrent mutuellement sur un nombre prédéterminé d'échantillons. Les exemples numériques donnés dans la description d'un mode particulier de réalisation du procédé restent valables.

5 Le module 48 de formation de blocs est connecté à un module de pondération 50 qui applique à chaque bloc une fenêtre d'apodisation, par exemple du type fenêtre de Hamming ou de Hanning.

10 Le module de pondération 50 est connecté à un module 52 de calcul de transformée de Fourier. A titre d'exemple non limitatif, le module 52 peut effectuer une transformée de Fourier rapide sur 512 points.

15 Le module 34 de calcul de signaux auxiliaires comprend également un module 54 de calcul des valeurs des fréquences inférieures et supérieures de bandes critiques adjacentes couvrant le domaine de fréquences auquel appartient le signal sonore reçu. En variante, le module 54 peut consister en une table de consultation contenant ces valeurs.

20 Le module 54 est connecté à un module 56 de calcul de fonctions de répartition de l'énergie. L'entrée du module 56 est également connectée au module 52 de calcul de transformée de Fourier. Le module 56 calcule et additionne l'énergie des différentes raies spectrales appartenant à chaque bande critique en utilisant les valeurs des fréquences limites des bandes critiques fournies par le module 54. Le module 56 fournit en sortie, pour chaque bande critique, la valeur d'une fonction de répartition de l'énergie.

30 Une seconde table de consultation 58 contient des valeurs représentant des fonctions d'étalement basilaire associées chacune à une bande critique donnée. La définition de ces fonctions a été donnée plus haut en relation avec un mode particulier de réalisation du procédé.

35 La seconde table de consultation 58 est connectée à l'entrée d'un module 60 permettant de calculer un spectre

étalé E_i . L'entrée du module 60 est également connectée au module 56 de calcul de fonctions de répartition de l'énergie. Le module 60 calcule, pour une bande critique donnée, le produit de convolution de la fonction de répartition de l'énergie et de la fonction d'étalement, de façon à fournir en sortie le spectre étalé pour cette bande critique.

Dans le mode particulier de réalisation représenté sur la figure 5, le module 34 de calcul de signaux auxiliaires comprend en outre un module 62 de calcul d'indices de tonalité α_i respectivement associés à des bandes critiques données. Le module 62 est connecté en sortie du module 52 de calcul de transformée de Fourier et utilise les valeurs des énergies des raies spectrales appartenant aux différentes bandes critiques.

Dans ce mode particulier de réalisation, le module 62 de calcul d'indices de tonalité est connecté à un module 64 de calcul de facteurs de correction O_i respectivement associés à des bandes critiques données. Le module 64 calcule les facteurs de correction O_i à partir des indices de tonalité α_i .

Dans un mode particulier de réalisation, le module 62 de calcul d'indices de tonalité fournit un indice de tonalité α_i constant, identique pour toutes les bandes critiques, défini par :

$$\alpha_i = \alpha = \min(\text{SFM}/\text{SFM}_{\text{max}}, 1)$$

où $\min(a, b)$ désigne la plus petite des valeurs a et b ,

où SFM_{max} est un paramètre de valeur prédéterminée en dB associé à un signal sinusoïdal pur, et

où $\text{SFM} = 10 \log_{10} G/A$, où \log_{10} désigne le logarithme décimal, G désigne la moyenne géométrique de l'énergie sur un nombre prédéterminé de points de la transformée de Fourier et A désigne sa moyenne arithmétique sur le même nombre de points. Dans ce mode de réalisation, le module 64 de calcul de facteurs de correction O_i fournit en sortie pour chaque bande critique un facteur de correction O_i défini par :

$$O_i = \max(SO, \alpha_i \cdot (k_1 + B_i) + (1 - \alpha_i) \cdot k_2)$$

où $\max(a, b)$ désigne la plus grande des valeurs a et b ,
 où S_0 , k_1 et k_2 sont des paramètres de valeur prédéterminée
 en dB,

où α_i est l'indice de tonalité associé à la bande critique
 5 considérée, et

où B_i désigne la fréquence de la bande critique en Bark.

A titre d'exemple non limitatif, les paramètres SFM_{max} , S_0 ,
 k_1 et k_2 peuvent avoir les valeurs numériques indiquées plus
 haut en relation avec un mode particulier de réalisation du
 10 procédé.

Le module 64 de calcul de facteurs de correction O_i
 et le module 60 de calcul de spectres étalés sont connectés
 à l'entrée d'un module 66 de calcul de seuils de masquage
 fréquentiel T_i respectivement associés à des bandes criti-
 15 ques données. Le module 66 fournit en sortie pour chaque
 bande critique un seuil de masquage fréquentiel T_i défini
 comme suit :

$$10 \log_{10} T_i = 10 \log_{10} E_i - O_i - C_i$$

où E_i est le spectre étalé et O_i le facteur de correction
 20 associés à cette bande critique, et où C_i est un paramètre
 supplémentaire de correction de seuil.

Le paramètre C_i est fourni par le module de contrôle
 36 mentionné plus haut. Les connexions du module 36 aux N
 voies de haut-parleur, représentées sur la figure 4, ont été
 25 omises sur la figure 5 pour plus de clarté.

Dans un mode particulier de réalisation, le module
 de contrôle 36 calcule le paramètre supplémentaire de
 correction de seuil C_i pour chaque bande critique à partir
 du niveau respectif des signaux des N voies et d'un ensemble
 30 de valeurs de la fonction d'intercorrélation d'au moins
 certaines paires de ces signaux, comme on l'a décrit plus
 haut en relation avec un mode particulier de réalisation du
 procédé. On a vu que dans ce cas, le paramètre C_i est une
 fonction croissante des valeurs de la fonction d'intercorrél-
 35 ation.

Dans un autre mode particulier de réalisation, le module de contrôle 36 calcule le paramètre C_i pour chaque bande critique à partir de la somme des énergies contenues dans les diverses bandes critiques de chaque voie et du rapport des énergies par bande critique d'au moins certaines paires des différentes voies, comme on l'a également décrit en relation avec un mode particulier de réalisation du procédé. On a vu que dans ce cas, le paramètre C_i est d'autant plus important que la somme des énergies contenues dans les diverses bandes critiques est importante et que le rapport des énergies par bande critique d'une paire de voies est peu différent entre les différentes bandes critiques.

Le module 34 de calcul de signaux auxiliaires comporte de plus un module 68 de génération de signaux synthétiques. Le module produit, pour chaque voie de signal sonore, un signal ayant les caractéristiques spectrales d'un bruit blanc et décorrélié des signaux synthétiques produits pour les autres voies.

La sortie du module 66 de calcul de seuils de masquage fréquentiel est connectée à un module de conversion fréquentielle 69. Le module 69 effectue la conversion des seuils de masquage fournis par le module 66 de Bark en Hertz.

Un module 70 reçoit en entrée les signaux synthétiques produits par le module 68 et les seuils de masquage fréquentiel calculés par le module 66 et convertis par le module 69. Le module 70 amène le niveau de chaque signal synthétique à la valeur du seuil de masquage fréquentiel associé, de façon à obtenir un signal auxiliaire.

La sortie du module 70 est connectée à l'entrée d'un module 72 de calcul de transformée de Fourier inverse.

La sortie du module 72 est connectée à l'entrée d'un module de synthèse 74. Le module de synthèse 74 est connecté à une mémoire vive (non représentée) qui stocke le résultat du traitement des blocs d'échantillons successifs. Le module de synthèse 74 combine le résultat du traitement d'un bloc

avec le résultat du traitement du bloc précédent fourni par la mémoire vive, par exemple en mettant en oeuvre un procédé de synthèse par recouvrement et addition (en anglais "overlap-add") ou recouvrement et sauvegarde (en anglais "overlap-save").

Un module 76 de lecture séquentielle est connecté au module de synthèse 74 et à la mémoire vive, et assure le passage de la cadence des données de la cadence de blocs à une cadence d'échantillons.

L'ensemble des modules 48 à 76 qui viennent d'être décrits est équivalent à la série de modules $38_1, \dots, 38_N$ de production de signaux auxiliaires représentés de façon simplifiée sur la figure 4. En effet, chacun des modules 48 à 76 contribue à produire un signal auxiliaire pour chaque voie de haut-parleur.

Ainsi, la présente invention permet d'injecter à chaque instant sur chaque voie de signal sonore reçu un signal auxiliaire de niveau maximal, assurant efficacement l'accroissement de la vitesse de convergence, et dont le niveau est rendu par construction inférieur au seuil de masquage par le signal sonore reçu.

Le procédé et le dispositif de la présente invention s'appliquent également en annulation d'écho mono-voie (cas $N = 1$), pour améliorer la convergence du filtre adaptatif.

Ils sont applicables à tous les types d'annulation d'écho acoustique, en particulier aussi bien dans le domaine temporel que dans le domaine fréquentiel, ou encore en sous-bandes.

Les figures 6a, 6b et 7a, 7b illustrent deux exemples de résultats comparatifs obtenus à l'aide du procédé et du dispositif d'annulation d'écho conformes à un mode particulier de réalisation de la présente invention.

Les graphes des figures 6a à 7b comprennent tous deux courbes. Les courbes en tirets concernent la voie stéréophonique droite et les courbes en pointillés concernent la voie stéréophonique gauche. L'algorithme utilisé

pour l'adaptation des coefficients des filtres adaptatifs est l'algorithme du gradient stochastique normalisé (NLMS). Les filtres adaptatifs ont une taille de 1024 coefficients. L'axe des abscisses représente le nombre d'itérations de l'algorithme d'adaptation, divisé par un facteur 256. L'axe des ordonnées représente l'écart relatif, en dB, entre les réponses impulsionnelles réelles des chemins de couplage acoustique et les réponses impulsionnelles des filtres adaptatifs d'un annuleur d'écho stéréophonique.

Le premier exemple comparatif, illustré par les figures 6a et 6b, correspond à un locuteur masculin. Le pas d'adaptation de l'algorithme NLMS est de 0,25. La figure 6a montre l'écart relatif obtenu en utilisant la présente invention et la figure 6b montre l'écart relatif obtenu en utilisant un procédé et un dispositif classiques d'annulation d'écho, ne faisant notamment pas intervenir de signaux auxiliaires.

Le deuxième exemple comparatif, illustré par les figures 7a et 7b, correspond à un locuteur féminin. Le pas d'adaptation de l'algorithme NLMS est de 0,125. Les figures 7a et 7b sont les analogues respectifs des figures 6a et 6b.

Dans les deux exemples comparatifs, l'utilisation de la présente invention assure toujours un écart relatif inférieur à 1 (c'est-à-dire négatif en dB), ce qui n'est pas le cas du procédé et du dispositif classiques pour la voie droite (courbes en tirets). De plus, dans les cas d'utilisation de la présente invention, l'écart sur la voie gauche (courbes en pointillés) est inférieur de plusieurs dB à l'écart observé sur les courbes correspondant au procédé et au dispositif classiques. La présente invention présente donc des performances supérieures, permettant de garantir un bon comportement de poursuite de l'annuleur d'écho en présence de variations des chemins de couplage acoustique.

Par ailleurs, dans les deux exemples, la correction appliquée aux seuils de masquage est de 10 dB. On pourrait tolérer une réduction de quelques dB de cette correction, ce

qui améliorerait encore les performances du procédé et du
dispositif proposés, alors que la parole perçue, bien que
légèrement modifiée par le bruit ajouté, conserverait une
qualité tout à fait acceptable dans une application du type
5 téléconférence.

10

15

20

25

30

35

REVENDICATIONS

1. Procédé d'annulation d'écho sur N voies de signal sonore ayant chacune un haut-parleur et un microphone associés, N étant un entier supérieur ou égal à 1, suivant lequel, sur chacune des N voies :

(a) on engendre un signal synthétique ayant les caractéristiques spectrales d'un bruit blanc, le spectre de ce signal s'étendant sur plusieurs bandes de fréquence adjacentes, et ce signal synthétique étant décorrélié des signaux synthétiques engendrés sur les autres voies ;

(b) pour chaque bande de fréquence, on calcule un seuil de masquage fréquentiel correspondant au signal associé au haut-parleur de la voie considérée en utilisant des propriétés de la perception auditive humaine ;

(c) dans chaque bande de fréquence, on amène le niveau du signal synthétique à la valeur du seuil de masquage fréquentiel associé, de façon à obtenir un signal auxiliaire ;

(d) on additionne le signal auxiliaire au signal associé au haut-parleur de la voie considérée, les seuils de masquage fréquentiel ayant été précédemment calculés de façon à rendre le signal auxiliaire inaudible, et les signaux auxiliaires des N voies étant mutuellement décorrélés ;

(e) on fournit le signal obtenu précédemment en entrée à un filtre adaptatif dont les coefficients forment une estimation de la réponse impulsionnelle du chemin de couplage acoustique entre le haut-parleur et le microphone associés à la voie de signal sonore considérée ;

(f) on additionne les signaux obtenus en sortie des N filtres adaptatifs associés à chaque voie de microphone et on soustrait le signal résultant du signal reçu par le microphone associé à cette voie ;

(g) on calcule une erreur d'estimation à partir de la différence obtenue à l'issue de la soustraction précédente ;

5 (h) on corrige les coefficients des filtres adaptatifs associés à la voie de microphone considérée en fonction de l'erreur d'estimation associée.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, pour calculer chaque seuil de masquage fréquentiel,

10 (b1) on forme des blocs contenant chacun un nombre prédéterminé d'échantillons de signal sonore, deux blocs successifs se recouvrant mutuellement sur un nombre prédéterminé d'échantillons ;

 (b2) on pondère les échantillons de chaque bloc par une fenêtre d'apodisation ;

15 (b3) on calcule la transformée de Fourier de chaque bloc ;

 (b4) on divise le domaine des fréquences en plusieurs bandes critiques adjacentes ayant des fréquences inférieures et supérieures déterminées ;

20 puis, pour chaque bloc et dans chaque bande critique :

 (b5) on additionne l'énergie des différentes raies spectrales appartenant à la bande critique, de façon à obtenir la valeur, pour cette bande critique, d'une fonction de répartition de l'énergie ;

25 (b6) on calcule le produit de convolution de la fonction de répartition de l'énergie et d'une fonction d'étalement basilaire, obtenue à partir d'une table de consultation, de façon à obtenir un spectre étalé E_1 ;

30 (b7) on calcule un indice de tonalité α_1 à partir des énergies des raies spectrales appartenant aux différentes bandes critiques ;

 (b8) on calcule un facteur de correction O_1 à partir de l'indice de tonalité calculé précédemment ;

35 (b9) on calcule un seuil de masquage fréquentiel T_1 à partir du spectre étalé E_1 et du facteur de correction O_1 , défini comme suit :

$$10 \log_{10} T_i = 10 \log_{10} E_i - O_i - C_i$$

où C_i est un paramètre supplémentaire de correction de seuil calculé à partir de plusieurs caractéristiques des signaux sonores des N voies.

5 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caracté-
risé en ce que les caractéristiques servant à calculer ledit
paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i compren-
nent le niveau respectif des signaux des N voies et un
10 ensemble de valeurs de la fonction d'intercorrélation d'au
moins certaines paires de ces signaux, ledit paramètre
supplémentaire de correction C_i étant une fonction crois-
sante des valeurs de cette fonction d'intercorrélation.

 4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caracté-
risé en ce que les caractéristiques servant à calculer ledit
15 paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i compren-
nent la somme des énergies contenues dans les diverses
bandes critiques de chaque voie et le rapport des énergies
par bande critique d'au moins certaines paires des différen-
tes voies, ledit paramètre supplémentaire de correction C_i
20 étant d'autant plus important que la somme des énergies
contenues dans les diverses bandes critiques est importante
et que le rapport des énergies par bande critique d'une
paire de voies est peu différent entre les différentes
bandes critiques.

25 5. Annuleur d'écho à N voies de signal sonore ayant
chacune un haut-parleur ($30_1, \dots, 30_N$) et un microphone
($32_1, \dots, 32_N$) associés, N étant un entier supérieur ou égal
à 1, comprenant :

 - des moyens (34) de calcul de signaux auxiliaires,
30 comportant :

 des moyens (48) de formation de blocs conte-
nant chacun un nombre prédéterminé d'échantillons du
signal sonore, deux blocs successifs se recouvrant
mutuellement sur un nombre prédéterminé d'échantil-
35 lons ;

des moyens (50) de pondération des échantillons de chaque bloc par une fenêtre d'apodisation, disposés en sortie des moyens de formation de blocs ;

5 des moyens (52) de calcul de transformée de Fourier, disposés en sortie des moyens de pondération ;

10 des moyens (54) de calcul des valeurs de fréquences inférieures et supérieures de bandes critiques adjacentes, ou une table de consultation contenant ces valeurs ;

15 des moyens (56) pour calculer une fonction de répartition de l'énergie sur les bandes critiques, la valeur, dans une bande critique donnée, de la fonction de répartition de l'énergie étant calculée en additionnant l'énergie des différentes raies spectrales appartenant à cette bande critique ;

20 une seconde table de consultation (58), contenant des valeurs représentant des fonctions d'étalement basilaire associées chacune à une bande critique donnée ;

25 des moyens (60) pour calculer un spectre étalé E_i , en calculant, pour une bande critique donnée, le produit de convolution de la fonction de répartition de l'énergie et de la fonction d'étalement associées à cette bande critique ;

des moyens (64) de calcul d'un facteur de correction O_i associé à une bande critique donnée ;

30 des moyens (66) de calcul d'un seuil de masquage fréquentiel T_i associé à une bande critique donnée, à partir du spectre étalé et du facteur de correction O_i associés à cette bande critique, le seuil de masquage fréquentiel T_i étant défini comme suit :

35
$$10 \log_{10} T_i = 10 \log_{10} E_i - O_i - C_i$$

où C_i est un paramètre supplémentaire de correction de seuil ;

5 des moyens (68) de génération de signaux synthétiques ayant les caractéristiques spectrales d'un bruit blanc ;

des moyens (36) de contrôle, connectés aux N voies de signal sonore, pour calculer pour chaque bande critique ledit paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i à partir de plusieurs caractéristiques des signaux sonores des N voies ;

10 des moyens (70) pour amener le niveau d'un signal synthétique à la valeur du seuil de masquage fréquentiel associé, de façon à obtenir un signal auxiliaire ;

15 des moyens (72) de calcul de transformée de Fourier inverse ;

des moyens de mémoire pour stocker le résultat du traitement des blocs successifs ;

20 des moyens (74) pour combiner le résultat du traitement d'un bloc avec le résultat du traitement du bloc précédent ;

des moyens (76) de lecture séquentielle reliés auxdits moyens de mémoire, pour faire passer la cadence des données de la cadence bloc à la cadence échantillon ;

25 N premiers moyens additionneurs ($40_1, \dots, 40_N$) respectivement disposés sur les N voies de signal sonore, pour additionner sur chaque voie le signal sonore reçu et le signal auxiliaire associé ;

30 - N x N moyens de filtrage adaptatif ($42_{1,1}, \dots, 42_{1,N}, \dots, 42_{N,1}, \dots, 42_{N,N}$), comprenant N moyens de filtrage adaptatif associés à chacune des N voies de microphone, et ayant chacun des coefficients qui forment une estimation de la réponse impulsionnelle du chemin de couplage acoustique

35 entre le haut-parleur et le microphone associés à une des N voies de signal sonore ;

- des seconds moyens additionneurs ($44_1, \dots, 44_N$), connectés en sortie des N moyens de filtrage adaptatif associés à chaque voie de microphone, pour additionner les signaux de sortie de ces N moyens de filtrage adaptatif ;

5 - N moyens soustracteurs ($46_1, \dots, 46_N$), disposés chacun en sortie desdits seconds moyens additionneurs ($44_1, \dots, 44_N$) et connectés respectivement aux microphones des N voies de signal sonore, pour soustraire sur chaque voie de microphone le signal obtenu en sortie desdits seconds moyens
10 additionneurs ($44_1, \dots, 44_N$) du signal reçu par le microphone de cette voie ;

- des moyens pour calculer sur chaque voie de microphone une erreur d'estimation à partir du résultat fourni par le moyen soustracteur connecté au microphone de
15 cette voie ;

- des moyens pour corriger de façon itérative les coefficients respectifs des N moyens de filtrage adaptatif associés à chacune des N voies de microphone, en fonction de l'erreur d'estimation associée à chaque voie de microphone.

20 6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que les caractéristiques servant à calculer ledit paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i comprennent le niveau respectif des signaux des N voies et un ensemble de valeurs de la fonction d'intercorrélation d'au
25 moins certaines paires de ces signaux, ledit paramètre supplémentaire de correction C_i étant une fonction croissante des valeurs de cette fonction d'intercorrélation.

7. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce que les caractéristiques servant à calculer ledit
30 paramètre supplémentaire de correction de seuil C_i comprennent la somme des énergies contenues dans les diverses bandes critiques de chaque voie et le rapport des énergies par bande critique d'au moins certaines paires des différentes
35 voies, ledit paramètre supplémentaire de correction C_i étant d'autant plus important que la somme des énergies contenues dans les diverses bandes critiques est importante

et que le rapport des énergies par bande critique d'une paire de voies est peu différent entre les différentes bandes critiques.

5 8. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (62) de calcul d'un indice de tonalité α_i à partir des énergies des raies spectrales appartenant aux différentes bandes critiques, lesdits moyens (64) de calcul du facteur de correction O_i calculant ledit facteur de correction O_i à partir dudit
10 indice de tonalité α_i .

9. Dispositif selon la revendication 8, caractérisé en ce que lesdits moyens (64) de calcul du facteur de correction O_i fournissent un facteur de correction O_i défini par :

15
$$O_i = \max(SO, \alpha_i \cdot (k_1 + B_i) + (1 - \alpha_i) \cdot k_2)$$
 où $\max(a, b)$ désigne la plus grande des valeurs a et b , où SO , k_1 et k_2 sont des paramètres de valeur prédéterminée en dB, où α_i est l'indice de tonalité associé à la bande critique
20 considérée, et où B_i désigne la fréquence de la bande critique en Bark.

10. Dispositif selon la revendication 9, caractérisé en ce que $SO = 24,5$ dB, $k_1 = 14,5$ dB et $k_2 = 5,5$ dB.

25 11. Dispositif selon la revendication 8, 9 ou 10, caractérisé en ce que les moyens (62) de calcul de l'indice de tonalité fournissent un indice de tonalité constant, identique pour toutes les bandes critiques et défini par :

$$\alpha_i = \alpha = \min(SFM/SFM_{\max}, 1)$$
 où $\min(a, b)$ désigne la plus petite des valeurs a et b ,
30 où SFM_{\max} est un paramètre de valeur prédéterminée en dB associé à un signal sinusoïdal pur, et où $SFM = 10 \log_{10} G/A$, où \log_{10} désigne le logarithme décimal, G désigne la moyenne géométrique de l'énergie sur un nombre prédéterminé de points de la transformée de Fourier et A
35 désigne sa moyenne arithmétique sur le même nombre de points.

12. Dispositif selon la revendication 11, caractérisé en ce que $SFM_{max} = -60$ dB.

5

10

15

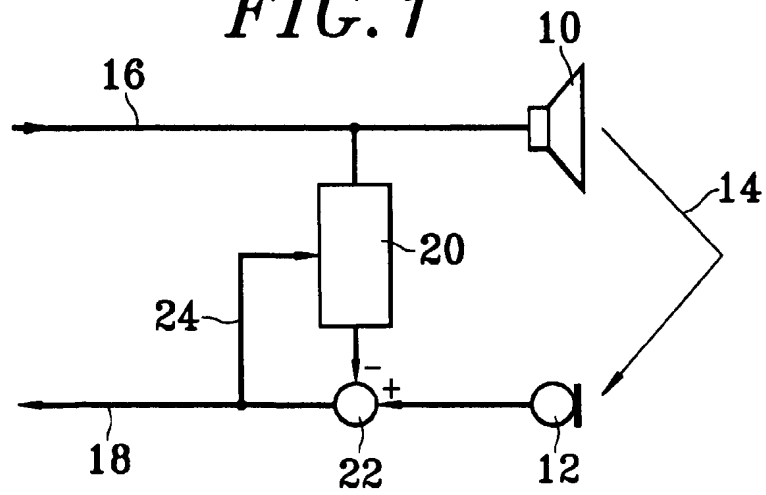
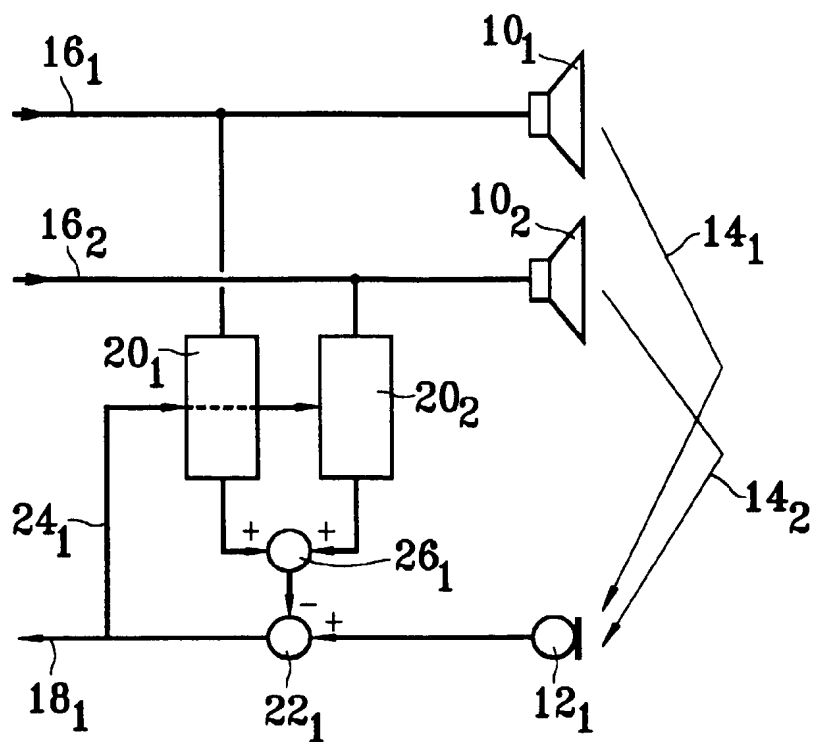
20

25

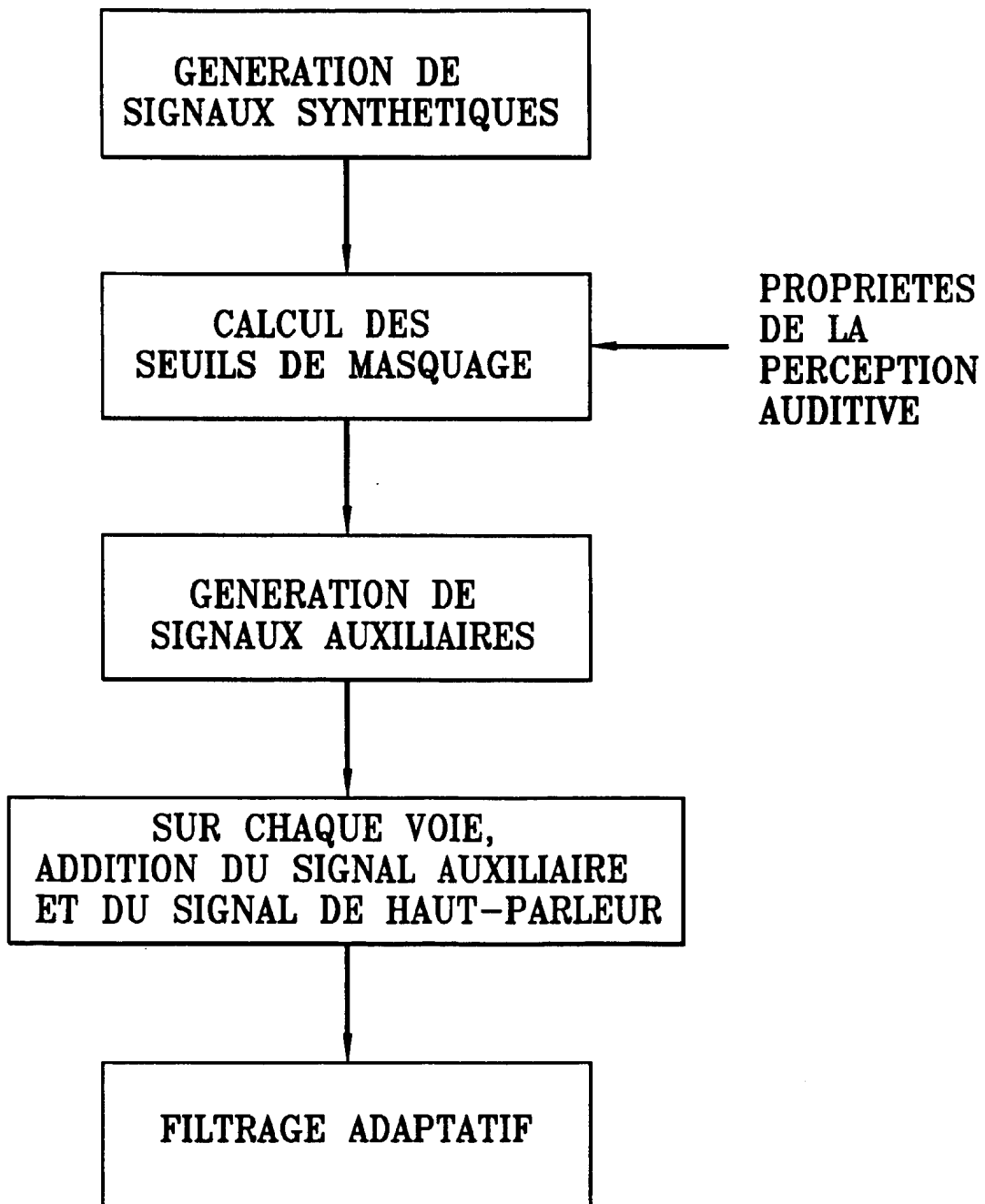
30

35

1/6

FIG. 1*FIG. 2*

2/6

FIG.3

3/6

FIG. 4

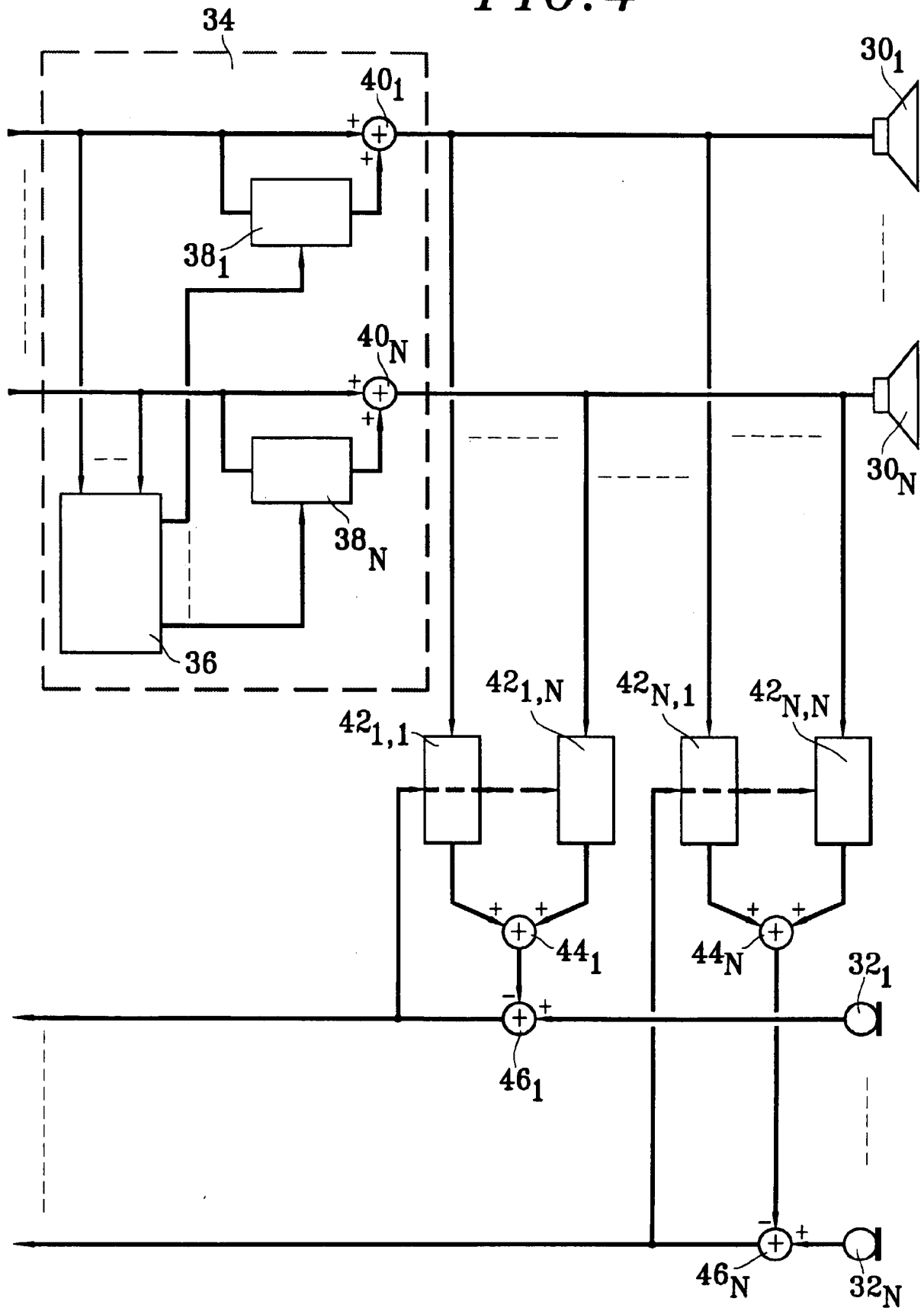
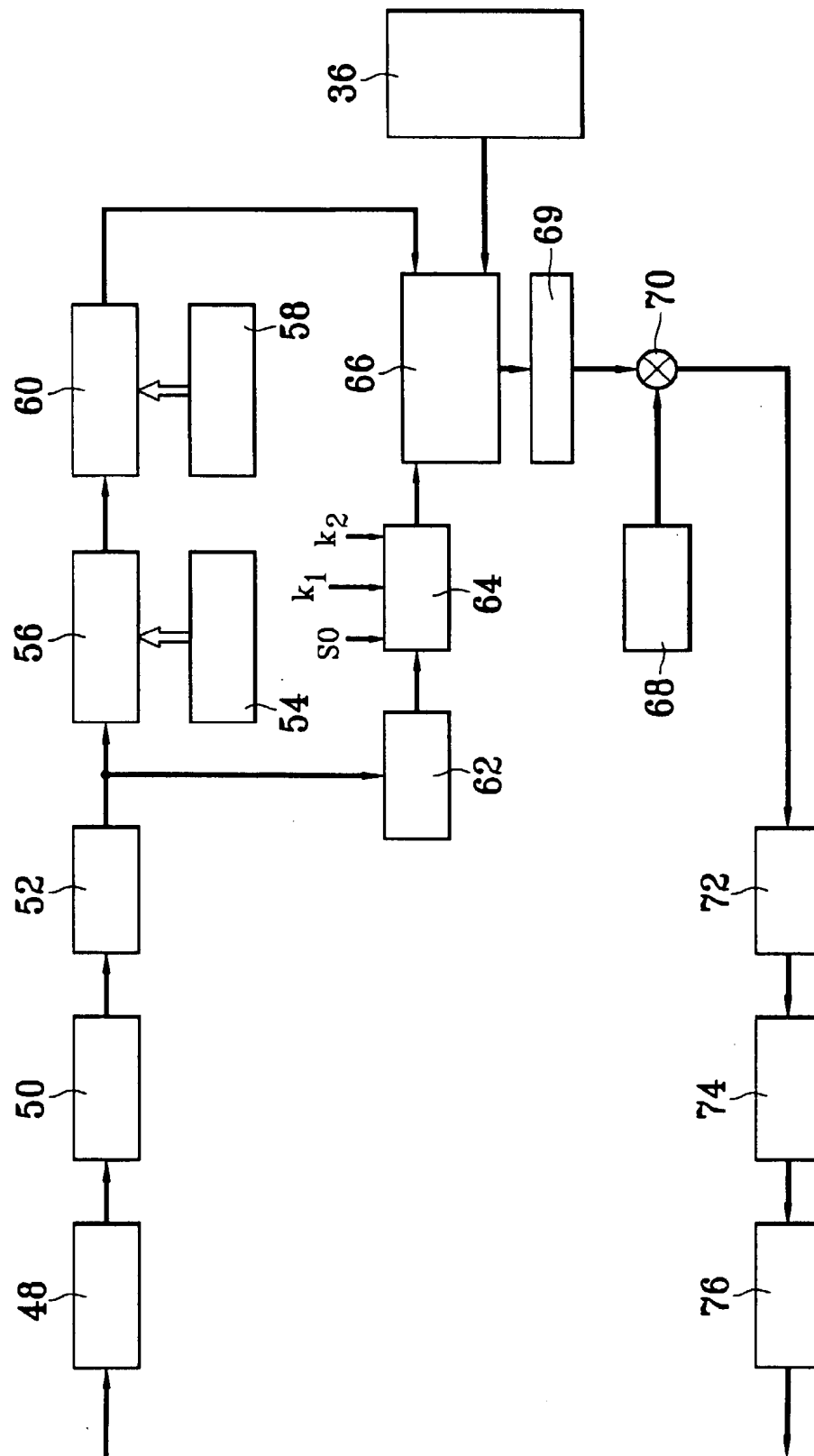
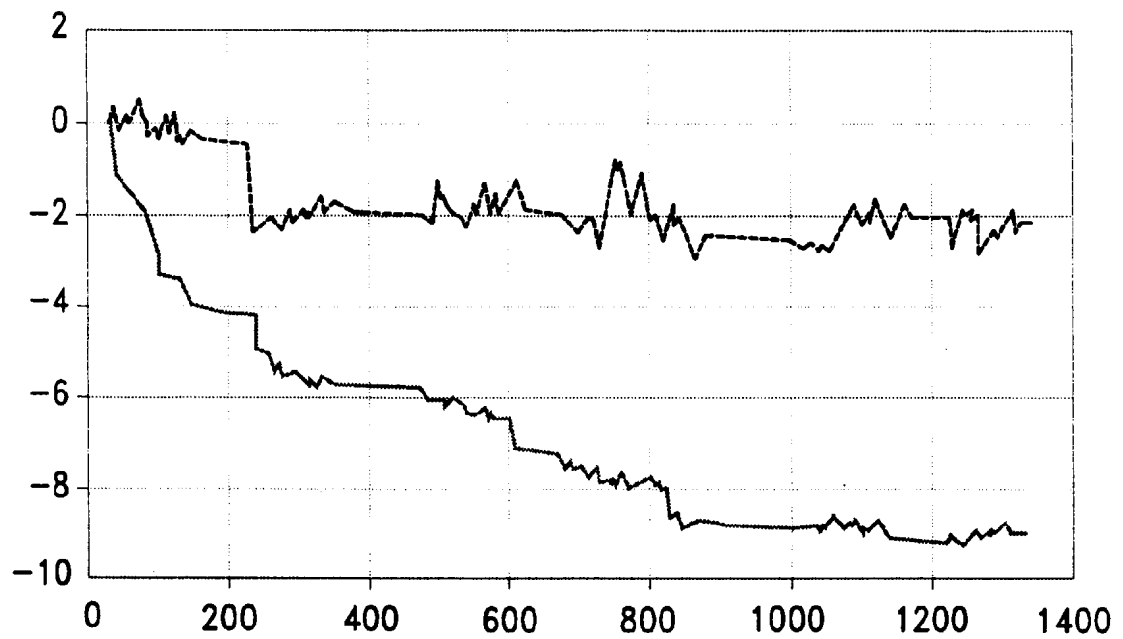
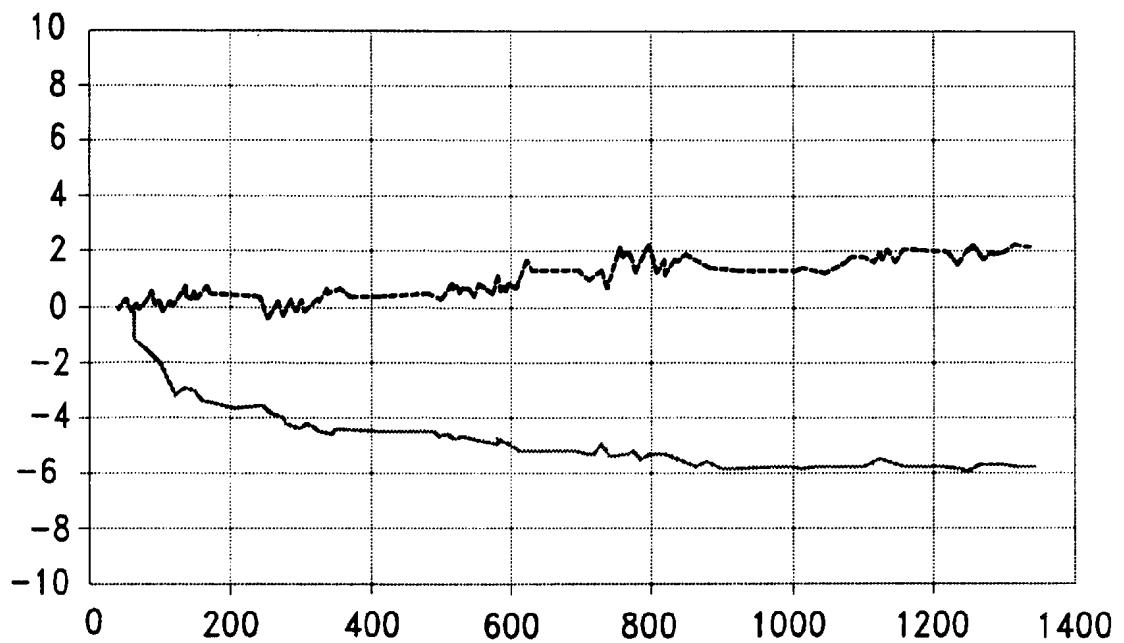


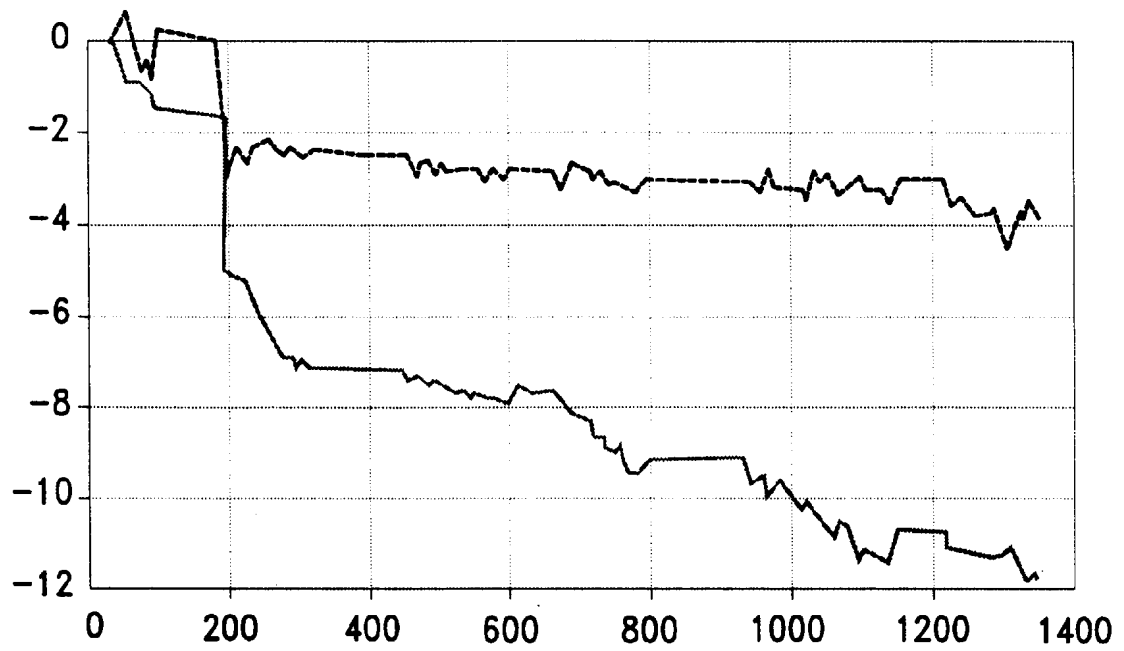
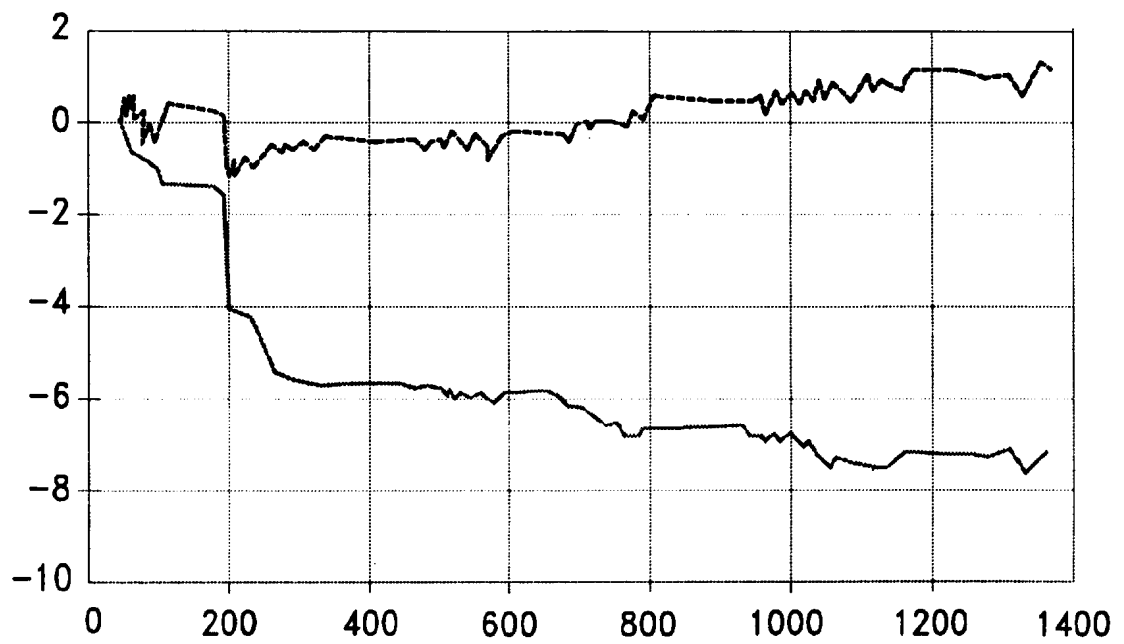
FIG. 5



5/6

FIG. 6a*FIG. 6b*

6/6

FIG. 7a*FIG. 7b*

2762467

REPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRELIMINAIRE**
établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 542305
FR 9704682

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
A	EP 0 709 999 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) * le document en entier *	1-12
A	SONDHI M M ET AL: "STEREOPHONIC ACOUSTIC ECHO CANCELLATION - AN OVERVIEW OF THE FUNDAMENTAL PROBLEM" IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, vol. 2, no. 8, août 1995, pages 148-151, XP000527174 * alinéa IV-B *	1-12
A	EP 0 627 825 A (NIPPON ELECTRIC CO) * abrégé *	1-12
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)
		H04M H04B
Date d'achèvement de la recherche		Examineur
3 mars 1998		Montalbano, F
<p>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>		

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C13)